DOI: 10.22092/spj.2022.128660

"مجله نهال و بذر"
جلد ۳۸، شماره ۲، سال ۱۴۰۱

مقاله پژوهشی

اثر سطوح مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفیت دانه دو رقم گندم دوروم [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.]

Effect of Different Levels of Nitrogen and Potassium Fertilizers on Grain Yield and Quality Properties of Two Durum Wheat [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] Cultivars

سارا سنجانی[1*]، توحید نجفی میرک[2]، فریبا نقی‌پور[3]، سید شهریار جاسمی[4] و علی قربانی[5]

۱، ۳ و ۴- استادیار، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۲- استاد، مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.
۵- پژوهشگر، موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، کرج، ایران.

تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۱/۱۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۳/۲۵

چکیده

سنجانی، س.، نجفی میرک، ت.، نقی‌پور، ف.، جاسمی، س. ش. و قربانی، ع. ۱۴۰۱. اثر سطوح مختلف کودهای نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفیت دانه دو رقم گندم دوروم [*Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.]. **مجله نهال و بذر ۳۸:** ۲۰۴-۱۷۱.

به منظور بررسی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفیت دانه ارقام گندم دوروم، این پژوهش در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج اجرا شد. کرت های اصلی شامل: دو رقم گندم دوروم (هانا و ثنا) و کرت های فرعی شامل: سطوح کود نیتروژن و پتاسیم (مجموعا ۱۰ تیمار) بودند. سطوح مختلف کود شامل کاربرد: صفر (شاهد)، ۲۰۰ ، ۳۰۰ و ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره و هر کدام از سطوح کود اوره به علاوه ۱۰۰ و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم بود. تجزیه واریانس داده ها نشان داد که اثر سال و سطوح مختلف کود بر عملکرد دانه در سطح یک درصد معنی‌دار بود. با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن و پتاسیم عملکرد دانه نیز افزایش یافت. اثر کاربرد همزمان این دو کود موجب افزایش معنی دار عملکرد دانه شد. به طوری که با مصرف ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار اوره به همراه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار سولفات پتاسیم عملکرد بالاتری نسبت به مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره حاصل شد. ویژگی‌های کیفیت دانه مورد ارزیابی شامل: وزن هکتولیتر، درصد پروتئین، حجم رسوب زلنی، سختی دانه، گلوتن مرطوب، شاخص گلوتن، ارتفاع رسوب SDS، درصد استخراج سمولینا و درصد لکه آردی بودند. تجزیه واریانس مرکب داده های مربوط به ویژگی‌های کیفیت دانه نشان داد که اثر سطوح مختلف کود بر کلیه ویژگی‌های کیفیت دانه، اثر سال بر گلوتن مرطوب، سختی دانه، درصد استحصال سمولینا و درصد لکه آردی و اثر متقابل رقم × کود بر شاخص گلوتن و درصد لکه آردی در سطح احتمال یک درصد و پنج درصد معنی‌دار بود. گلوتن مرطوب، سختی دانه و درصد استحصال سمولینا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ و درصد لکه آردی در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بیشتر بود. نتایج نشان داد که با افزایش میزان مصرف کودهای نیتروژن و پتاسیم کلیه ویژگی‌های کیفیت دانه افزایش یافت، بجز درصد لکه آردی که در تیمار کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن به اضافه ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود سولفات پتاسیم نسبت به تیمار شاهد ۷۶ درصد کاهش یافت. با توجه به نتایج این پژوهش اگرچه در هر از سطح کود نیتروژن تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کود پتاس مشاهده نشد، با این وجود به نظر می‌رسد مصرف ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود اوره به همراه ۲۰۰ کیلوگرم کود سولفات پتاسیم به منظور بهینه‌سازی کمیت و کیفیت دانه گندم دوروم در شرایط آب و هوایی کرج مناسب باشد.

واژه های کلیدی: گندم دوروم، تغذیه گیاه، درصد پروتئین دانه، شاخص گلوتن، لکه آردی دانه.

* نگارنده مسئول: sanjani20_s@yahoo.com تلفن: ۰۲۶۳۶۷۰۱۱۰۶

مقدمه

گندم دوروم *Triticum turgidum* L. ssp. *durum* (Desf.) Husn.] به عنوان یک محصول غذایی با اهمیت دارای سطح زیر کشت جهانی حدود ۱۳/۵ میلیون هکتار با تولید حدود ۳۳/۸ میلیون تن است (Martínez-Moreno *et al*., 2022). گندم دوروم با دانه‌های سخت، حاوی پروتئین بالا و رنگدانه‌های زرد شناخته می‌شود. خصوصیات گلوتن سنگین و خمیر غیر چسبنده این نوع گندم را برای تهیه محصولات پاستا از جمله ماکارونی و اسپاگتی ایده‌آل نموده است (Farahani and Arzani, 2009).

قسمت عمده سطح زیر کشت و تولید گندم دوروم در مناطق مدیترانه‌ای قرار دارد (Able and Atienza, 2014.) با وجود اینکه ایران یکی از کشورهای با آب و هوای مدیترانه‌ای است، اما از لحاظ تولید گندم دوروم جایگاه مهمی را در بین کشورهای تولید کننده این محصول ندارد. مناطق وسیعی از ایران برای تولید گندم دوروم با کیفیت بالا مناسب هستند و از این نظر ایران می‌تواند در تولید این محصول و تبدیل آن به سمولینا و ماکارونی نقش مؤثری در بازارهای جهانی داشته باشد. در ایران سطح زیر کشت گندم دوروم در سال ۱۴۰۰ حدود ۱۴۷ هزار هکتار گزارش شده است (Anonymous, 2017).

کیفیت فراورده های تولیدی از گندم دوروم ارتباط مستقیمی با ویژگی‌های کیفیت دانه آن دارد. مهمترین عوامل تاثیرگذار بر ویژگی های کیفیت دانه گندم دوروم عبارتند از: ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل ژنوتیپ × محیط می‌باشد (Edwards *et al*., 2007; Lerner *et al*., 2004). در بین عوامل محیطی، میزان و مدیریت کوددهی یکی از مهمترین عوامل تاثیر گذار بر حصول عملکرد بالا و کیفیت مطلوب در غلات است (Dolijanovic *et al*., 2019). نیتروژن یکی از مهمترین عناصر غذایی برای رشد مناسب گیاه می‌باشد، و موجب افزایش عملکرد دانه و همچنین کیفیت دانه می‌شود.

نیتروژن یکی از ترکیبات اصلی گیاه است که به طور مستقیم و غیرمستقیم رشد و نمو گیاه را تحت تأثیر قرار داده و در فرایندهای مهم گیاه مانند تقسیم و تمایز سلول و فتوسنتز نقش دارد و جزو ساختار پروتئین‌ها و اسیدهای نوکلئیک است (Anwar *et al*., 2011). نیتروژن مورد نیاز برای گیاهان زراعی و باغی از طریق کاربرد کود نیتروژن و تثبیت زیستی نیتروژن توسط بقولات تأمین می‌شود (Xu *et al*., 2012). نیتروژن نقش اساسی در افزایش عملکرد و کیفیت محصول از طریق ایجاد و حفظ ظرفیت فتوسنتزی دارد، به همین دلیل به صورت کودهای شیمیایی در سطح وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد (Dou *et al*., 2017). این در حالی است که برآورد شده تنها ۳۰ تا ۴۰ درصد از نیتروژن مصرفی جذب گیاه می‌شود و نیتروژن باقی مانده موجب آلودگی محیط زیست در سطح وسیعی می‌شود. در نتیجه مصرف بهینه کود

نیتروژن یکی از مهمترین مسایل در مدیریت تغذیه محصولات زراعی است (Fageria, 2014; Zavalin *et al*., 2018).

در میان عناصر غذایی ضروری برای رشد و نموگیاهان، پتاسیم علاوه بر افزایش تولید و بهبود کیفیت محصول، سبب افزایش مقاومت گیاهان به شوری، کم آبی، آفات و بیماری‌ها می شود و بهره وری آب و کود را افزایش می‌دهد (Malakouti and Tehrani, 1999). این عنصر جهت تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها، انجام فتوسنتز و ساخت پروتئین در گیاه ضروری است. افزایش استحکام ساقه و مقاومت در برابر خوابیدگی از دیگر مزایای مصرف پتاسیم به شمار می‌رود (Aissa and Mhiri, 2002). پتاسیم و نیتروژن در فعالیت فتوسنتزی و در تشکیل و انتقال کربوهیدرات‌ها و پروتئین‌ها در گیاه نقش دارند.

آسیمیلاسیون نیتروژن به فعالیت فتوسنتزی گیاه وابسته است و این موضوع می‌تواند دلیلی بر تأثیر برهمکنش کاربرد نیتروژن و پتاسیم بر غلظت نیتروژن و پتاسیم دانه باشد (Carvalho *et al*., 2016). پتاسیم بیشتر آنزیم‌هایی را که باعث تجمع مولکول‌های کوچک شده و مولکول‌های بزرگ مانند نشاسته را تولید می‌کنند، فعال می کند (Salardini, 2011). بنابراین کمبود پتاسیم باعث افزایش ذخیره مواد هیدروکربنی در گیاه می‌شود. این پدیده در نتیجه تأخیر در ساخت پروتئین پیش می‌آید. گزارش شده است پتاسیم در آخرین مرحله فرایند ساخت پروتئین شرکت دارد و آن را هدایت می‌کند. بنابراین در داخل گیاه با کاهش میزان پتاسیم، میزان پروتئین نیز کاهش یافته و در عوض غلظت آمیدها و اسیدهای آمینه افزایش می‌یابد (Malakouti and Homaee, 2004).

کیفیت گندم دوروم به وسیله سه ویژگی سختی دانه (Hardness index)(z شیشه‌ای بودن سطح مقطع دانه (Vitreous) و رنگ کهربایی دانه‌ها (Amber color) بیان می‌شود که به اختصار HVAC نامیده می‌شود (Herdrich, 2000). این ویژگی ها بستگی به درصد پروتئین و درصد لکه آردی (Yellow berry) دانه دارند. لکه آردی عارضه‌ای است که موجب کاهش میزان HVAC می‌شود. در واقع در عارضه لکه آردی آندوسپرم به خوبی توسعه نمی‌یابد و بجای پروتئین، کربوهیدرات در دانه ذخیره و لکه‌های سفید رنگ بر روی دانه تشکیل می‌شود. لکه آردی به طور معنی‌داری بر میزان پروتئین دانه تاثیر گذاشته و در نتیجه موجب کاهش کیفیت ماکارونی و اسپاگتی تولیدی می‌شود (Ammiraju *et al*., 2002). یکی دیگر از آثار منفی لکه آردی کاهش رنگ سمولینا می‌باشد (Pozo, *et al*., 2019). عارضه لکه آردی دانه گندم دوروم به طور گسترده در مناطق مختلف جهان گزارش و بررسی شده است. کمبود نیتروژن و رطوبت در خاک و مدیریت ضعیف مزرعه مهمترین عوامل موثر در بروز عارضه لکه

آردی در گندم دوروم گزارش شده است (Herdrich, 2000).

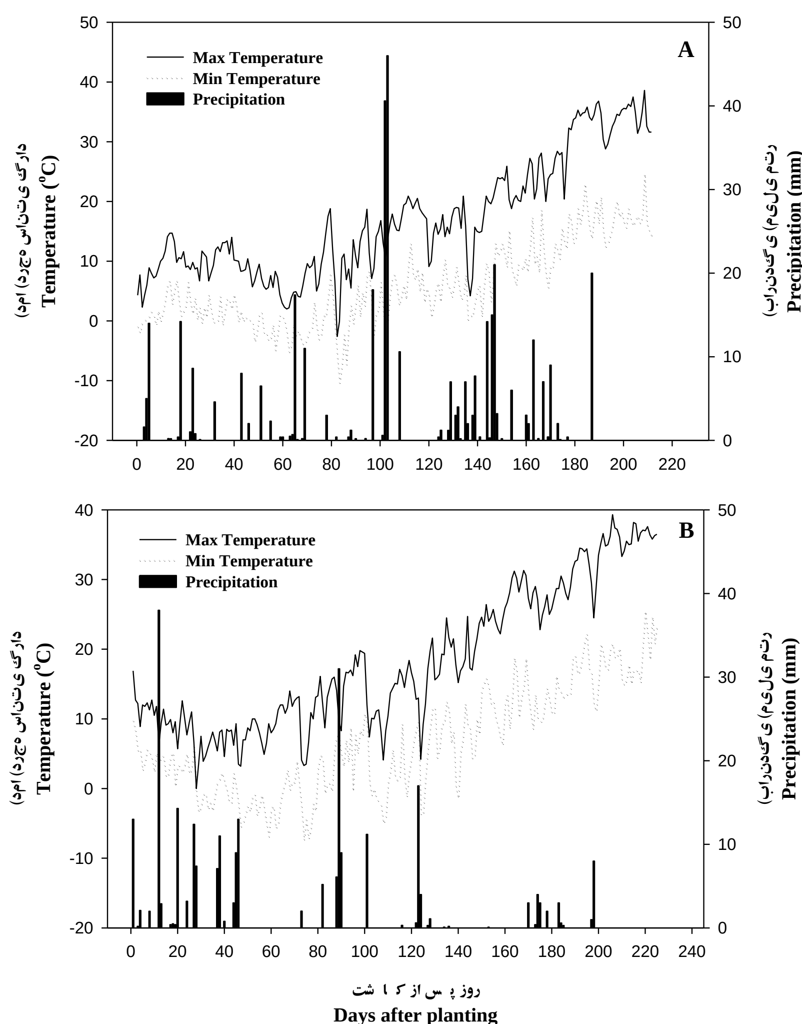
مطالعات مختلفی به بررسی ارتباط بین نیتروژن و پروتئین دانه پرداخته‌اند. در این مورد نتایج متفاوتی بر اساس میزان و زمان مصرف نیتروژن وجود دارد. گزارش شده است که مصرف نیتروژن موجب افزایش تجمع نیتروژن در دانه گندم نان و به تبع آن افزایش پروتئین دانه شده است (Rodriguez-Felix *et al*., 2014) و در نتیجه گلیادین و گلوتنین نیز افزایش یافته است (Gonzalez-Torralba *et al*., 2011). در حالیکه عابدی و همکاران (Abedi *et al*., 2011) گزارش کردند که مصرف بیش از اندازه نیتروژن سبب کاهش میزان پروتئین دانه گردید. پژوهشگران با بررسی اثر متقابل کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه گندم دوروم نشان دادند که با افزایش نیتروژن از ۴۵ به ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ۱۵ درصد افزایش یافت، در حالیکه با افزایش فسفر و پتاسیم عملکرد تغییر معنی‌داری نداشت (May *et al*., 2008). همچنین با افزایش مصرف نیتروژن، پروتئین دانه نیز افزایش یافت.

در پژوهشی عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفیت دانه در ژنوتیپ‌های مختلف گندم دوروم در سطوح بالا و پایین کود نیتروژن مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج نشان داد که کاربرد سطوح بالای نیتروژن باعث افزایش عملکرد دانه شد، در حالیکه اثر معنی‌داری بر وزن هزار دانه نداشت (Mariem *et al*., 2020). همچنین با افزایش میزان مصرف نیتروژن قندهای محلول و گلوتن افزایش و میزان نشاسته کاهش یافت. کاهش میزان مصرف نیتروژن به یک سوم موجب افزایش کارایی مصرف نیتروژن و کاهش ویژگی‌های کیفیت دانه و خصوصیات زراعی گندم دوروم شد (Mariem *et al*., 2020). ماکاسکا و همکاران (Makowska *et al*. 2008) همبستگی مثبت و معنی‌داری بین میزان مصرف نیتروژن و محتوی پروتئین دانه و همچنین گلوتنین در دانه‌های گندم دوروم را گزارش کردند. به نظر می‌رسد پژوهش در خصوص مدیریت بهینه مصرف کود نیتروژن و تنظیم نسبت نیتروژن و پتاسیم برای تولید گندم دوروم به نحوی که علاوه بر بروز پتانسیل عملکرد دانه، امکان بهبود ویژگی‌های کیفیت آن را نیز فراهم سازد، حائز اهمیت باشد. زیرا که میزان و زمان مصرف نیتروژن عامل اصلی موثر در به دست آوردن عملکرد دانه بالا و افزایش محتوی پروتئین و بهبود ویژگی های کیفیت دانه است (Gant *et al*., 2001).

بنابراین، با توجه به تأثیر تغذیه بهینه گیاهی بر خصوصیات کمی و ویژگی های کیفیت محصولات زراعی از جمله گندم دوروم و با توجه به اینکه پژوهش در زمینه اثر مصرف توام نیتروژن و پتاسیم بر ویژگی های کیفیت گندم دوروم محدود می‌باشد، این پژوهش با هدف ارزیابی اثر سطوح مختلف نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد و ویژگی‌های کیفیت دانه دو رقم گندم دوروم و مدیریت بهینه مصرف کود در دو سال زراعی در کرج انجام شد.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در دو سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹ در مزرعه تحقیقاتی مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر واقع در کرج (طول جغرافیایی ۵۱ درجه و ۹ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۵۹ دقیقه شمالی و ارتفاع ۱۳۲۱ متر از سطح دریا) اجرا شد. مقدار بارندگی سالانه در این منطقه ۲۵۰ میلی‌متر و خاک آن از نوع آلوویال با بافت لوم است. بطورکلی اقلیم این منطقه معتدل با زمستان های سرد و ملایم و تابستان‌های نسبتا گرم می‌باشد. البته با توجه به نزدیکی به کویر و ارتفاعات دارای شرایط آب و هوایی بسیار متغیر است. تغییرات دما و بارندگی در طول فصل رشد گندم در دو سال آزمایش در شکل ۱ نشان داده شده است.



شکل۱- درجه حرارت و بارندگی در طول فصل رشد گندم دوروم در دو سال زراعی: (A) سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و (B) سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹

Fig. 1. Temperature and precipitation during two cropping seasons: (A) 2019-20 and (B) 2020-21 cropping seasons

قطعه زمین آزمایشی مورد کشت در سال قبل (هر دو سال) از اجرای آزمایش به صورت آیش بود. در شهریور عملیات آماده سازی بستر کشت انجام شد. ابتدا یک نوبت شخم، یک نوبت دیسک، دو بار دستگاه تسطیح عمود بر هم، و ایجاد پشته ها و جوی‌های آبیاری انجام گردید. در هر دو سال قبل از کشت، نمونه خاک از عمق ۳۰ سانتی‌متری با استفاده از اوگر تهیه و برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش به آزمایشگاه مؤسسه تحقیقات خاک و آب ارسال شد. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش (دو سال) در جدول ۱ ارائه شده است.

جدول ۱- ویژگی های فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش در دوسال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)
Table 1. Soil physical and chemical properties of the experimental site in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

سال Year	بافت خاک Soil texture	پتاسیم قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Available potassium (mg kg^{-1})	فسفر قابل جذب (میلی گرم بر کیلوگرم) Available phosphorus (mg kg^{-1})	درصد کربن آلی Organic carbon (%)	درصد نیتروژن کل Total nitrogen (%)	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی (دسی زیمنس بر متر) EC (dS m^{-1})
2019-20	لوم Loam	230	8.2	0.74	0.07	8.05	0.87
2020-21	لوم Loam	240	5.2	0.76	0.08	8.11	0.57

این پژوهش به صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. کرت‌های اصلی ارقام گندم دوروم (هانا و ثنا) و کرت‌های فرعی سطوح مختلف کود نیتروژن (اوره) و کود پتاسیم (سولفات پتاسیم) بودند. ویژگی‌های ارقام گندم دوروم مورد بررسی به شرح ذیل است:

رقم هانا: عادت رشد بهاره، متوسط رس، ارتفاع گیاه ۹۵ سانتی‌متر، مقاوم به خوابیدگی، میانگین عملکرد دانه ۷۹۴۰ کیلوگرم در هکتار، میانگین پروتئین دانه ۱۲/۱ درصد.

رقم ثنا: عادت رشد بهاره، متوسطرس، ارتفاع گیاه ۹۲ سانتی‌متر، مقاوم به خوابیدگی، میانگین عملکرد دانه ۸۵۲۴ کیلوگرم در هکتار، میانگین پروتئین ۱۲/۲ درصد.

ترکیب تیمارهای مختلف کودی آزمایش در جدول ۲ ارائه شده است. کود پتاس قبل از کاشت، و کود نیتروژن در سه مرحله قبل از کاشت، شروع طویل شدن ساقه (Commencement of stem elongation) (زادوکس ۲۰) و آبستنی (Booting) (زادوکس ۴۱) تا گرده افشانی (Anthesis) (زادوکس ۶۱)

به نسبت مساوی در هر مرحله مصرف شد. روش جایگذاری کود در شیارهای ایجاد شده در هر ردیف برای کوددهی بکاربرده شد. در هر دوسال آزمایش کاشت مطابق تاریخ کاشت معمول منطقه یعنی نیمه دوم آبان (سال اول در تاریخ ۲۵ آبان و سال دوم در تاریخ ۲۰ آبان) و با استفاده از بذرکار خطی کار آزمایشی وینتراشتایگر انجام شد.

جدول ۲- ترکیب تیمارهای سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاس

Table 2. The combination of different levels of nitrogen and potassium fertilizers treatments

تیمار Treatment	کود اوره (کیلوگرم در هکتار) Urea fertilizer (kg ha^{-1})	کود سولفات پتاسیم (کیلوگرم در هکتار) Potassium sulfate fertilizer (kg ha^{-1})
K0N0	0	0
K0N200	200	0
K0N300	300	0
K0N400	400	0
K100N200	200	100
K200N200	200	200
K100N300	300	100
K200N300	300	200
K100N400	400	100
K200N400	400	200

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate Fertilizer

هر کرت آزمایشی به طول شش متر و به عرض دو و نیم متر شامل چهار پشته هر یک با عرض ۶۲/۵ سانتی‌متر و سه خط کاشت بر روی هر پشته بود. بذر ارقام گندم دوروم مورد بررسی با تراکم ۴۵۰ دانه در متر مربع کشت شدند. بین کرت‌های اصلی (ارقام) یک پشته نکاشت و فاصله بین کرت های فرعی (تیمارهای کودی) به خاطر جلوگیری از شستشوی و اختلاط کودها دو پشته نکاشت در نظر گرفته شد. در طول فصل زراعی کلیه مراقبت‌های زراعی از جمله مدیریت و کنترل شیمیایی علف‌های هرز باریک برگ و پهن برگ انجام شد. آبیاری با استفاده از روش آبیاری نواری (Tape) انجام شد. لوله‌های اصلی انتقال آب شش اینچی و لوله‌های فرعی چهار اینچی بود. لوله‌های نواری (Tape) دارای ۱۷۵ میکرون ضخامت و فاصله سوراخ های آبده ۳۰ سانتی‌متر بود. دور آبیاری بر اساس شرایط آب و هوایی و نیاز گیاه انجام شد.

برداشت

به منظور اندازه‌گیری عملکرد دانه پس از حذف نیم متر از ابتدا و انتهای هر کرت، توسط کمباین مخصوص آزمایشات WinterSteiger از خطوط وسط هر کرت برداشت انجام شد.

وزن هزار دانه با برداشت یک نمونه تصادفی از دانه محصول نهایی و با استفاده از دستگاه بذر شمار و ترازو تعیین شد.

اندازه‌گیری ویژگی‌های کیفیت دانه

برای انجام اندازه‌گیری‌های ویژگی‌های کیفیت دانه، پس از برداشت از محصول هر تیمار یک نمونه ۱۵۰۰ گرمی دانه به آزمایشگاه شیمی و تکنولوژی غلات موسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر ارسال شد.

بوجاری کردن و آماده‌سازی

در ابتدا به منظور ارزیابی ویژگی های کیفیت دانه، نمونه‌های دانه ارقام گندم دوروم با استفاده از دستگاه بوجاری آزمایشگاهی (مدل a/s Rationel Kornservice، ساخت کشور دانمارک) بوجاری شد. در این مرحله گرد و خاک، کاه و کلش، سنگ، بذر سایر گیاهان علفی و دانه‌های گندم شکسته جدا گردید.

ارزیابی خصوصیات فیزیکی

وزن هکتولیتر: اندازه‌گیری وزن هکتولیتر نمونه‌ها طبق استاندارد تدوین شده شماره ۵۵-۱۰ توسط انجمن شیمی‌دانان غلات آمریکا (American Association of Cereal Chemists = AACC)، با استفاده از سیلندر دستگاه مخصوص انجام شد و وزن دانه در حجم مشخص سیلندر تعیین گردید (AACC, 2000).

تهیه آرد: به منظور تهیه آرد برای ارزیابی ویژگی های فیزیکی وشیمیایی نمونه‌های دانه گندم دوروم مورد بررسی مراحل آسیاب شدند. از آسیاب چکشی آزمایشگاهی (مدل Laboratory Mill 3100، ساخت کشور آلمان) به‌منظور تهیه آرد کامل و آسیاب غلطکی (مدل Brabender، ساخت کشور آلمان) برای جدا نمودن لایه‌های سبوس و تهیه آرد نرم آندوسپرم استفاده شد. از هریک از آردهای تولیدی برای انجام آزمون‌های کیفیت خاصی استفاده گردید (AACC, 2000).

ارزیابی خصوصیات فیزیکی و شیمیایی

میزان پروتئین و شاخص سختی دانه: به منظور ارزیابی میزان پروتئین و شاخص سختی دانه هریک از نمونه‌های دانه گندم دوروم مورد بررسی از دستگاه (Near Inferared Reflectance) NIR (Perten، ساخت کشور سوئد) مطابق با استاندارد شماره ۱۵۹ International ssociation for Cereal Science and (Technology) ICC استفاده شد . برای انجام این آزمون از آرد کامل استفاده گردید (Anonymous. 1998) .

درصدگلوتن مرطوب و شاخص گلوتن: این ویژگی کیفیت دانه بر روی نمونه‌های آرد کامل بر اساس استاندارد AACC شماره ۱۱-۳۸ و با استفاده از دستگاه گلوتن‌شوی (Perten، ساخت کشور سوئد) انجام شد. میزان گلوتن مرطوب بر حسب درصد و شاخص گلوتن ثبت شد (AACC, 2000).

حجم رسوب زلنی: حجم رسوب زلنی یا عدد زلنی بر اساس استاندارد AACC شماره ۱۱-۵۴ محاسبه شد. برای این منظور مقدار ۳/۲

گرم آرد سفید آندوسپرم و فاقد سبوس (بر مبنای ۱۴ درصد رطوبت) را با محلول‌های شیمیایی بروموفنل بلو، اسید لاکتیک و الکل ایزوپروپیلیک در طی مراحل مختلف ترکیب و پس از سپری شدن زمان‌های مشخص مطابق با روش آزمون، حجم رسوب زلنی قرائت شد (AACC, 2000).

ارتفاع رسوب **SDS**: برای اندازه گیری ارتفاع رسوب SDS مطابق با روش کارتر و همکاران (Carter *et al.*, 1999) عمل شد. مقدار ۰/۶ گرم آرد سفید آندوسپرم و فاقد سبوس با محلول سدیمانتاسیون (شامل نسبت حجمی ۱ به ۴۸ از SDS ۱/۵ درصد و اسید لاکتیک ۸۵ درصد در آب (۱:۸)) مخلوط شد و پس از سپری شدن زمان‌های مشخص مطابق با روش آزمون، ارتفاع رسوب SDS بر حسب میلی‌متر قرائت شد.

درصد استخراج سمولینا: عبارت است از نسبت وزن سمولینای استخراج شده به وزن کل گندم دوروم مصرف شده که به صورت درصد محاسبه و ثبت شد (Shahidi *et al.*, 2007). مطابق با استاندارد ملی ایران شماره ۱۰۳ (آرد گندم- ویژگی‌ها و روش آزمون)، حداقل ۹۰ درصد از اندازه ذرات آرد سمولینا بایستی بین ۱۵۰ تا ۳۵۰ میکرون باشد. در پژوهش حاضر اندازه ذرات آرد سمولینا برای کلیه تیمارها حداکثر ۳۵۰ در نظر گرفته شد.

درصد لکه آردی دانه: برای تعیین درصد لکه آردی دانه، مقدار ۱۰۰ گرم از نمونه دانه از هر تیمار وزن و دانه‌هایی که لکه سفید آردی-نشاسته‌ای در پس زمینه شیشه‌ای دانه داشتند (شکل ۲)، به‌عنوان لکه آردی جدا و به صورت درصد گزارش شد (Anonymous, 2019).



شکل ۲- (A) دانه گندم سالم و (B) دانه گندم دارای لکه آردی

Fig. 2. (A) Healthy durum wheat grain and (B) durum wheat grain with yellow berry

محاسبات آماری

محاسبات وتجزیه و تحلیل‌های آماری برای داده‌های به دست آمده با استفاده از نرم افزار SAS انجام شد. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون توکی (Tukey) در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد انجام گردید. نمودارها با استفاده از نرم افزار Sigmaplot 12 رسم شدند.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

تجزیه واریانس مرکب داده ها دانه نشان داد که اثر سال، سطوح مختلف کود و اثر متقابل سال × سطوح کود بر عملکرد دانه در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول۳). مقایسه میانگین‌های نشان داد که عملکرد دانه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (۸۲۸۳ کیلوگرم در هکتار) بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (۷۵۱۴ کیلوگرم در هکتار) بود (جدول ۴). با توجه به بارش بیشتر و خنکی دمای هوا در طول فصل رشد در سال زراعی اول نسبت به سال زراعی دوم افزایش در حدود ۱۰ درصدی عملکرد قابل انتظار بود (شکل ۱). افزایش دما، دوام هر یک از دوره‌های رشدی را کاهش می‌دهد، در نتیجه تعداد دانه در واحد سطح و وزن دانه کاهش می‌یابد، که این امر منجر به کاهش عملکرد دانه می شود.

جدول ۳- تجزیه واریانس مرکب برای عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام گندم دوروم در سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 3. Combined analysis of variance for grain yield and 1000 grain weight of durum wheat cultivars as affected by different levels of nitrogen and potassium fertilizers in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	عملکرد دانه Grain Yield	وزن هزار دانه 1000 Grain Weight
Year (Y)	سال	1	17733140*	28.61
Replication (Y)	تکرار (سال)	4	476881	11.36
Cultivar (C)	رقم	1	297405	50.96
C × Y	رقم × سال	1	228115	1.98
Error a	خطای اصلی	4	639838	6.30
Fertilizer (F)	کود	9	3803319**	21.23**
Y × F	سال × کود	9	101868*	1.74
C × F	رقم × کود	9	24492	1.91
Y × F × C	سال × کود × رقم	9	28725	3.27
Error b	خطای فرعی	72	22127	2.99
C. V. (%)	درصد ضریب تغییرات		11.80	6.91

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

* and** : Significant at the5% and 1% probability levels, respectively.

جدول ۴- مقایسه میانگین عملکرد دانه و وزن هزار دانه ارقام گندم دوروم در سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 4. Mean comparison of grain yield and 1000 grain weight of durum wheat cultivars as affect by different levels of nitrogen and potassium fertilizers in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

	عملکرد دانه (کیلوگرم بر هکتار) Grain yield (kg ha^{-1})	وزن هزار دانه 1000 Grain weight (g)
	Cropping season	سال زراعی
2019-20	8283a	44.7a
2020-21	7514a	43.7a
	Fertilizer levels	سطوح کود
K0N0	6790g	41.3c
K0N200	7315f	44.1ab
K0N300	7645e	44.2ab
K0N400	8049d	44.5ab
K100N200	7587e	43.8b
K200N200	7995d	43.7b
K100N300	8208cd	44.3ab
K200N300	8349bc	45.2ab
K100N400	8446ab	45.3ab
K200N400	8599a	46.4a

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level- using Tukey’s test.

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer

گیرما و همکاران (Girma *et al.,* 2007) گزارش کردند پتانسیل عملکرد دانه گندم از سالی به سالی دیگر متغیر است و دلیل این امر را متغیر بودن بارندگی، درجه حرارت و رطوبت نسبی در سال‌های مختلف بیان نمودند. داشادی (Dashadi, 2020) تفاوت عملکرد گندم در دو سال آزمایش در سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم را به افزایش ۵۰ درصدی بارندگی در سال دوم نسبت داد. والش و همکاران (Walsh *et al.,* 2018) رابطه مثبت و معنی‌داری بین افزایش میزان کود نیتروژن و عملکرد دانه گندم در مکان‌های مختلف و در هر سال گزارش کردند. این پژوهشگران همچنین خاطر نشان کردند که این رابطه به علت متغیر بودن شرایط محیطی در سال‌ها و مکان‌های آزمایشی متفاوت بود. به‌طور کلی، شرایط محیطی نقش مهمی در تعیین میزان مصرف بهینه کود به منظور افزایش کمیت و کیفیت محصولات زراعی بویژه گندم دارد. مطالعات متعددی نشان دادند که چطور شرایط محیطی غیرقابل پیش‌بینی، تعیین کننده عملکرد دانه نهایی و میزان نیاز به کود می‌باشد، به عبارتی دیگر، واکنش گیاهان زراعی به سطوح مختلف کود

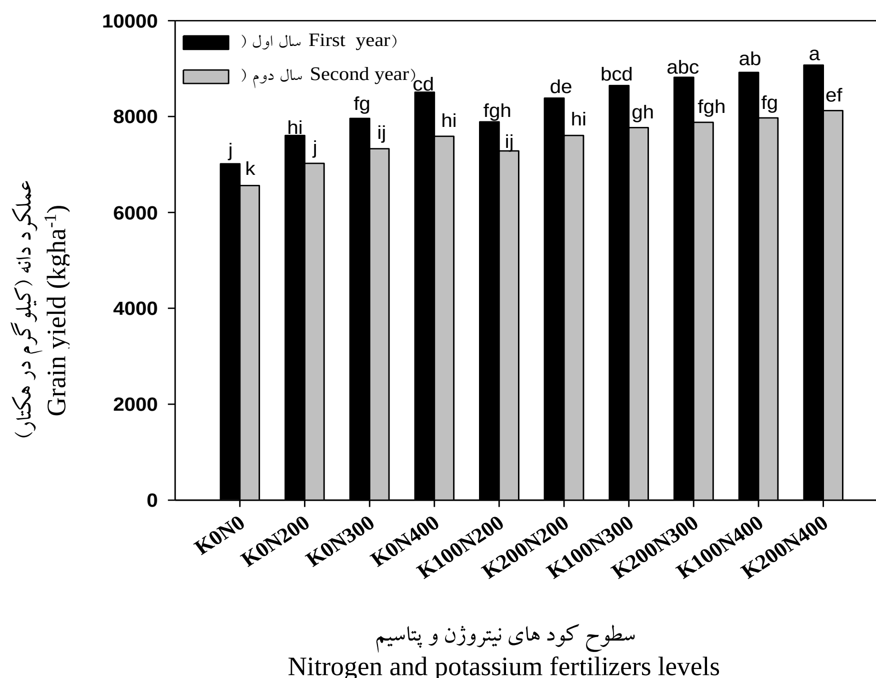
وابسته به شرایط اقلیمی و مدیریت زراعی می‌باشد (Mohammed *et al.*, 2013; Raun *et al.*, 2019; Pampana and Marriotti, 2021).

مقایسه میانگین‌های اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر عملکرد دانه نشان داد که بیشترین عملکرد دانه (۸۵۹۹ کیلوگرم در هکتار) در تیمار K200N400 و کمترین آن (۶۷۹۰ کیلوگرم در هکتار) در تیمار شاهد مشاهده شد (جدول ۴). بررسی میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطوح کود نیتروژن و پتاسیم عملکرد نیز افزایش یافت، و کاربرد همزمان این دو کود به طور معنی‌داری اثر بیشتری بر افزایش عملکرد دانه نشان داد، به طوری که در تیمار K200N300 عملکرد دانه به‌طور معنی‌داری نسبت به تیمار K0N400 بالاتر بود (جدول ۴).

نیو و همکاران (Niu *et al.*, 2013) اثر متقابل مثبتی بین پتاسیم و نیتروژن بر عملکرد گندم یافتند و بیان نمودند که پتاسیم جذب نیتروژن در گیاه را افزایش داد. از طرفی مای و همکاران (May *et al.*, 2008) با بررسی اثر متقابل کود نیتروژن، فسفر و پتاسیم بر عملکرد و کیفیت دانه گندم دوروم گزارش کردند که با افزایش نیتروژن از ۴۵ به ۱۴۰ کیلوگرم در هکتار عملکرد دانه ۱۵ درصد افزایش یافت، در حالیکه با افزایش فسفر و پتاسیم عملکرد دانه تغییر معنی‌داری نداشت. این پژوهشگران همچنین گزارش کردند با افزایش مصرف نیتروژن، پروتئین دانه افزایش یافت. مطالعات متعددی افزایش عملکرد دانه گندم را با افزایش مصرف نیتروژن به علت افزایش تعداد دانه در واحد سطح را گزارش کردند (Abedi *et al.*, 2011; Mariem *et al.*, 2020).

مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود نشان داد که در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ عملکرد دانه در سطوح مختلف کود بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بود. بطوریکه در سال دوم عملکرد دانه در تیمار K0N200 تفاوت معنی‌داری با تیمار شاهد در سال زراعی اول نشان نداد (شکل ۳). با توجه به نتایج این پژوهش،به نظر می‌رسد بارش بیشتر و دمای خنک تر هوا در طول دوره رشد بویژه در دوره پر شدن دانه، که موجب افزایش طول این دوره شد و انتقال مواد با کارایی بالاتری شد، باعث افزایش عملکرد دانه در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ نسبت به سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ شد.

پژوهشگران دیگر نیز تغییرات عملکرد دانه گندم در واکنش به سطوح مختلف کود نیتروژن در سال‌های مختلف را مرتبط با تغییرات بارندگی و درجه حرارت ذکر کرده‌اند (Lloveras *et al.*, 2001; Ierna, *et al.*, 2016). در مطالعه‌ای اثر معنی‌دار سال بر عملکرد دانه گندم در تیمارهای سطوح مختلف کود نیتروژن را مرتبط با تفاوت در مقدار نیتروژن قابل دسترس خاک در نتیجه تاثیر الگوی توزیع بارندگی بر معدنی شدن مواد آلی خاک و بقایای گیاهی گزارش کردند (Garrido-Lestache *et al.*, 2005).



شکل ۳- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود بر عملکرد دانه گندم دوروم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹). ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم.

Fig. 3. Mean comparison of year × fertilizer levels interaction effect on grain yield of durum wheat in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21). Coulmns with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tuket test

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer.

وزن هزار دانه

تجزیه واریانس مرکب نشان داد که اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر وزن هزار دانه معنی‌دار در سطح احتمال یک درصد معنی دارد بود (جدول ۳). مقایسه میانگین ها نشان داد که بیشترین وزن هزار(۴۶/۴ گرم) دانه در تیمار K200N400 و کمترین (۴۱/۳ گرم) آن در تیمار شاهد بدست آمد (جدول ۴). با توجه به اثر مثبت نیتروژن بر تولید ماده خشک و دوام سطح برگ و در نتیجه افزایش فتوسنتز جاری در طول دوره پر شدن دانه، قابل انتظار بود که وزن دانه با افزایش مصرف نیتروژن افزایش یابد.

از آنجایی که در هر یک از سطوح نیتروژن

تفاوت معنی‌داری بین سطوح پتاسیم از نظر وزن هزار دانه مشاهده نشد و همچنین تیمارهای K0N400 و K200N300 تفاوت معنی دار نداشتند، به نظر می‌رسد اثر افزایش نیتروژن نسبت به افزایش پتاسیم تأثیر بیشتری بر این وزن هزار دانه داشت (جدول ۴). نتایج این مطالعه با نتایج پژوهش سدری و همکاران (Sedri *et al.*, 2021) موافقت دارد. این پژوهشگران بیان نمودند که اثر متقابل نیتروژن و پتاسیم بر وزن هزار دانه معنی‌دار نبود، در حالیکه اثر اصلی نیتروژن بر آن معنی‌دار بود.

ویژگی‌های کیفیت دانه

تجزیه واریانس مرکب داده‌ها نشان داد که اثر سطوح مختلف کود و اثر متقابل سال × سطوح کود بر کلیه ویژگی های کیفیت دانه شامل: وزن هکتولیتر، درصد پروتئین دانه، حجم رسوب زلنی، سختی دانه، گلوتن مرطوب، شاخص گلوتن، ارتفاع رسوب SDS، درصد استحصال سمولینا و لکه آردی معنی دار بود (جدول ۵). اثر سال بر درصدگلوتن مرطوب، شاخص سختی دانه، درصد استخراج سمولینا و درصد لکه آردی و اثر متقابل رقم ×کود بر شاخص گلوتن و درصد لکه آردی معنی‌دار بود (جدول ۵).

مقایسه میانگین‌های اثر اصلی سال نشان داد که درصد گلوتن مرطوب، شاخص سختی دانه و درصد استحصال سمولینا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بود، ولی درصد لکه آردی در سال دوم بیشتر از سال زراعی اول بود (جدول ۶). میانگین دمای روزانه از مرحله شروع طویل شدن ساقه تا رسیدگی فیزیولوژیک در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ (۱۷/۵ درجه سانتی‌گراد) کمتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ (۱۹/۵ سانتی‌گراد) بود (شکل ۱). همچنین بارش در این دوره زمانی در سال زراعی اول (۱۵۳/۲ میلی‌متر) بیشتر از سال زراعی دوم (۴۸/۸ میلی‌متر) بود. تفاوت شرایط آب و هوایی در دو سال آزمایش و نوسانات دماو بارش بر برخی ویژگی‌ها اثر بیشتری نسبت به سایر ویژگی‌های کیفیت دانه داشتند.

میانگین دما در دوره رشد دانه به عنوان مهمترین عامل موثر بر ویژگی‌های کیفیت دانه توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Blumenthal *et al*., 1993). تجمع نیتروژن در دانه در دماهای پایین تا ملایم کمتر تحت تاثیر قرار می‌گیرد، در حالی‌که در دماهای بالا (بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد) یا خیلی بالا (۴۰-۳۵ درجه سانتی‌گراد) میزان تجمع نیتروژن در هر دانه کاهش می‌یابد (Daniel and Triboi, 2000). موتزا و همکاران (Motzo *et al*., 2007) گزارش کردند که دماهای بیشتر از ۳۰ درجه سانتی‌گراد در دوره پر شدن دانه اثر منفی بر فرایند تشکیل زیرواحدهای شبکه گلوتن بویژه گلوتنین دارد.

در مطالعه‌ای در شرایط اقلیم مدیترانه‌ای گزارش شده است که در شرایطی که دما بین ۳۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد بود، شاخص گلوتن کاهش یافت (Fios *et al*., 2011). مطالعه‌ای بر

جدول ۵- تجزیه واریانس مرکب برای ویژگی‌های کیفیت دانه ارقام گندم دوروم در سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 5. Combined analysis of variance for grain quality properties of durum wheat cultivars as affected by different levels of nitrogen and potassium fertilizers in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

S.O.V.	منبع تغییرات	درجه آزادی d.f.	وزن هکتولیتر Hectoliter weight	میزان پروتئین Protein content	حجم رسوب زلنی Zeleny sedimentation n volume	شاخص سختی دانه Grain hardness index	محتوای گلوتن مرطوب Wet gluten content	شاخص گلوتن Gluten index	ارتفاع رسوب SDS SDS sedimentation height	میزان استخراج سمولینا Semolina extraction rate	لکه آردی دانه Grain yellow berry
Year (Y)	سال	1	0.74	0.05	3.01	11.41*	66.01**	546.13	14.01	3060.3**	1519.40**
Replication (Y)	تکرار (سال)	4	3.51	0.25	5.78	3.73	7.18	216.88	8.28	68.47	14.76
Cultivar (C)	رقم	1	6.35	0.11	0.07	6.07	2.41	1.20	5.21	158.70	45.63
C × Y	رقم × سال	1	4.11	0.01	0.21	1.87	0.67	1.20	1.01	116.03	13.33
Error a	خطای اصلی	4	1.00	0.05	0.77	1.10	2.62	184.00	4.63	22.77	22.31
Fertilizer (F)	کود	9	4.77**	0.46**	15.13**	13.86**	8.91**	1744.63**	49.28**	101.69**	186.01**
Y × F	سال × کود	9	0.41*	0.02*	0.95*	1.72**	1.64**	78.34**	4.31**	28.76**	19.12**
C × F	رقم × کود	9	0.16	0.005	0.43	0.43	0.44	68.11**	1.91	1.49	7.12*
Y × F × C	سال × کود × رقم	9	0.50	0.002	0.41	0.23	0.79	14.29	0.49	1.68	0.91
Error b	خطای فرعی	72	0.19	0.01	0.44	0.47	0.58	20.29	1.35	2.97	2.80
C.V. (%)	درصد ضریب تغییرات		0.53	0.72	2.72	1.16	2.79	9.96	1.71	3.04	19.44

* and** : Significant at the 5% and 1% probability levels, respectively.

* و ** : به ترتیب معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد.

جدول ۶- مقایسه میانگین ویژگی‌های کیفیت دانه ارقام گندم دوروم در سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 6. Mean comparison of grain quality properties of durum wheat cultivars as affect by different levels of nitrogen and potassium fertilizers in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

	وزن هکتولیتر (کیلوگرم بر هکتولیتر) Hectoliter weight (kg hL^{-1})	درصد پروتئین Protein (%)	حجم رسوب زلنی (میلی‌لیتر) Zeleny sedimentation volume (ml)	شاخص سختی دانه Grain hardness index	درصدگلوتن مرطوب Wet gluten (%)	شاخص گلوتن Gluten index	رسوب SDS (میلی‌متر) SDS sedimentation (mm)	درصد استخراج سمولینا Semolina extraction (%)	درصد لکه آردی دانه Grain yellow Berry (%)
				Cropping season سال زراعی					
2019-20	83.60a	12.86a	24.28a	59.35a	27.95a	47.37a	67.62a	61.67a	5.05b
2020-21	83.44a	12.82a	24.60a	58.73b	26.47b	43.10a	68.30a	51.57b	12.17a
				Fertilizer levels سطوح کود					
K0N0	82.13d	12.52e	22.00e	57.25e	24.42g	22.92g	64.67f	51.50f	17.42a
K0N200	83.03c	12.70d	23.67d	58.00d	25.75f	32.92f	66.17ef	53.58ef	11.75b
K0N300	83.35bc	12.75cd	24.08cd	58.83c	26.08ef	37.33ef	66.92de	55.17de	10.04bc
K0N400	83.97ab	13.01b	25.42ab	60.08b	28.92b	53.08bc	69.83ab	58.25b	5.71ef
K100N200	83.41bc	12.77cd	24.00cd	58.58cd	26.67def	42.17de	67.25cde	55.42cde	9.17bcd
K200N200	83.48bc	12.78cd	24.33cd	58.67cd	26.17ef	43.42de	66.58de	56.92bcd	8.87cd
K100N300	83.54bc	12.80cd	24.83bc	58.92c	27.08de	49.00cd	68.00cd	56.58bcd	7.29de
K200N300	83.88ab	12.89bc	24.67bcd	59.08c	27.67cd	51.08bc	68.92bc	57.92bc	7.28de
K100N400	83.95ab	13.04b	25.50ab	60.08b	28.83bc	56.67ab	70.00ab	59.00b	4.50f
K200N400	84.44a	13.20a	25.92a	60.92a	30.50a	63.75a	71.25a	61.83b	4.04f

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level- using Tukey's test.

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

روی اثر مقادیر مختلف نیتروژن و گوگرد بر صفات کمی و ویژگی‌های کیفیت دانه گندم نشان داد که درجه حرارت و بارندگی در دوره پرشدن دانه و رسیدگی نقش بسیار موثری بر کیفیت دانه گندم دوروم داشت. اثر مقدار کود نیتروژن بر تغییرات الگوی کیفیت دانه گندم دوروم تابعی از عوامل اقلیمی است و قابل ذکر است که این تاثیرات بر ویژگی‌های کیفیت دانه بیشتر از عملکرد دانه بود (Garrido-Lestache *et al*., 2005).

وزن هکتولیتر

مقایسه میانگین وزن هکتولیتر در تیمارهای مختلف کودی نشان داد که با افزایش میزان مصرف نیتروژن وزن هکتولیتر افزایش یافت (جدول ۶). این یافته با نتایج سایر پژوهشگران همسو است (Makowska *et al*., 2008; Boukef *et al*., 2013). بیشترین وزن هکتولیتر (۸۴/۴۴ کیلوگرم بر هکتولیتر) و کمترین آن (۸۲/۱۳ کیلوگرم بر هکتولیتر) به ترتیب در تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاسیم (K200N400) و شاهد مشاهده شد (جدول ۴). قابل ذکر است که در هر یک از سطوح نیتروژن تفاوت معنی‌داری بین دو سطح پتاسیم مشاهده نشد. بررسی اثر متقابل سال × سطوح کود نشان داد که بیشترین و کمترین وزن هکتولیتر در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ مشاهده شد، که بیشترین آن در تیمار K200N400 و کمترین آن در تیمار شاهد بود (جدول ۷). به نظر می‌رسد فراهمی نیتروژن و آب موجب بهبود تجمع مواد به ویژه نشاسته و پروتئین در دانه‌ها شده و در نتیجه چگالی و اندازه آنها افزایش یافت.

وزن هکتولیتر یکی از ویژگی‌های مهم کیفیت دانه و یک خصوصیت فیزیکی است که با اندازه و شکل دانه‌ها، یکنواختی و چگالی آنها مرتبط است. وزن هکتولیتر بسته به ساختار ژنتیکی رقم، شرایط محیطی و مدیریت زراعی متفاوت می‌باشد (Protic *et al*., 2007). دانه‌های نارس و دانه‌هایی که در اثر تنش های محیطی (خشکی، گرما و شوری) و بیماری چروکیده شده‌اند، معمولاً وزن هکتولیتر پائینی دارند (Peighambardoust, 2017).

میزان پروتئین

مقایسه میانگین های اثر سطوح مختلف کود نیتروژن و پتاسیم بر درصد پروتئین دانه نشان داد که با افزایش مقدار نیتروژن و پتاسیم پروتئین دانه افزایش یافت، اگر چه فقط در بالاترین سطح نیتروژن تفاوت معنی‌داری بین دو سطح پتاسیم مشاهده شد (جدول۶). تیمار با بالاترین سطح کود نیتروژن و پتاسیم (K200N400) با میزان پروتئین ۱۳/۲۰ درصد بالاترین و تیمار شاهد با ۱۲/۵۲ درصد پایین‌ترین میزان پروتئین دانه را داشتند (جدول ۴). این تفاوت می تواند به دلیل فراهمی و دردسترس بودن بیشتر نیتروژن برای گیاه در تیمار کوددی K200N400 برای سنتز آمینو اسیدها و پروتئین بود (Rodriguez-Felix *et al*., 2014).

میزان پروتئین دانه گندم دوروم یکی از

جدول ۷- مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود بر ویژگی‌های کیفیت دانه گندم دوروم در دو سال زراعی (۹۹-۱۳۹۸ و ۱۴۰۰-۱۳۹۹)

Table 7. Mean comparison of year × fertilizer levels interaction effect on grain quality properties of durum wheat in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21)

سطوح کود Fertilizer levels	وزن هکتولتر (کیلوگرم بر هکتولیتر) Hectoliter weight (kg hL-1)	درصد پروتئین Protein (%)	حجم رسوب زلنی (میلی‌لیتر) Zeleny sedimentation volume (ml)	شاخص سختی دانه Grain hardness Inedex	درصد گلوتن مرطوب Wet gluten (%)	شاخص گلوتن Gluten index	ارتفاع رسوب SDS (میلی‌متر) SDS sedimentation (mm)	درصد استخراج سمولینا Semolina (%)	درصد لکه آردی دانه Grain yellow berry (%)
				Cropping season 2019-20 سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸					
K0N0	81.87f	12.50g	21.33f	58.17fgh	24.50ij	19.50m	63.83f	59.33b	10.50cde
K0N200	82.92de	12.72efg	23.50de	58.83c-h	26.33e-i	34.17jkl	65.67def	60.17ab	7.67efg
K0N300	83.30b-e	12.73def	23.67de	59.17b-g	26.67d-h	38.50h-k	65.83def	61.33ab	6.58efg
K0N400	84.15abc	13.07b	25.50abc	60.00a-e	30.00ab	56.00bcd	70.00abc	63.17ab	2.42hi
K100N200	83.43bcd	12.82cde	23.83de	59.17b-g	27.50c-g	43.50e-j	66.50def	60.83ab	5.67fgh
K200N200	83.50bcd	12.75def	23.82de	59.00b-g	26.67d-h	44.33e-j	66.67def	61.67ab	5.58fgh
K100N300	83.82a-d	12.82cde	24.83a-d	59.00b-g	27.67c-f	52.67b-f	67.50cde	61.17ab	4.67ghi
K200N300	84.13abc	12.88b-e	24.81a-d	59.17b-g	28.33bcd	54.00b-e	68.00b-e	61.83ab	4.67ghi
K100N400	84.22ab	13.08ab	25.50abc	59.83a-f	30.00ab	62.50ab	70.17abc	63.00ab	1.67hi
K200N400	84.65a	13.30a	26.00a	61.17a	31.83a	68.50a	72.00a	64.17a	1.08i
				Cropping season 2020-21 سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹					
K0N0	82.40ef	12.53fg	22.67ef	56.33i	24.33j	26.33lm	65.50ef	43.67g	24.33a
K0N200	83.15de	12.68efg	23.83de	57.17hi	25.17hij	31.67kl	66.67def	47.00fg	15.83b
K0N300	83.40bcd	12.77de	24.50bcd	58.50d-h	25.50hij	36.17i-l	68.00b-e	49.00ef	13.50bc
K0N400	83.80a-d	12.95bcd	25.33abc	60.17a-d	27.83cde	50.17c-g	69.67abc	53.33cd	f 9.00de
K100N200	83.38bcd	12.73def	24.17cd	58.00ghi	25.83f-j	40.83g-k	68.00b-e	50.00def	12.67bcd
K200N200	83.47bcd	12.80cde	24.81a-d	58.33e-h	25.67g-j	42.50f-k	66.50def	52.17cde	12.17bcd
K100N300	83.27cde	12.78cde	24.83a-d	58.83c-h	26.50d-h	45.33d-i	68.50bcd	52.00cde	9.92cde
K200N300	83.63bcd	12.90b-e	24.50bcd	59.00b-g	27.00d-h	48.17c-h	69.83abc	54.00cd	9.91cde
K100N400	83.68bcd	13.00bc	25.50abc	60.33abc	27.67c-f	50.83c-g	69.84abc	55.00c	7.33efg
K200N400	84.23ab	13.10ab	25.83ab	60.67ab	29.17bc	59.00abc	70.50ab	59.50b	7.00efg

میانگین‌هایی، در هر ستون و برای هر عامل، که دارای حداقل یک حرف مشترک می‌باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی‌دار ندارند.

Means, in each column and for each factor, followed by at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level- using Tukey's test.

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

مهمترین ویژگی‌های کیفیت محصول تولیدی است و براساس اثر متقابل ژنوتیپ × محیط و به ویژه میزان در دسترس بودن نیتروژن و رطوبت برای گیاه تعیین می‌شود. ایجاز و همکاران (Ejaz *et al.*, 2002) یک رابطه خطی بین درصد پروتئین و افزایش میزان مصرف کود نیتروژن در گندم نان مشاهده کردند و افزایش تا ۱۴/۱۸ درصد پروتئین را در تیمار با ۱۸۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن گزارش کردند. همچنین با توجه به نتایج این پژوهش نشان دهنده آن است که میزان مصرف کود نیتروژن نسبت به پتاسیم تأثیر بیشتری بر درصد پروتئین دانه داشت. به طوری که در یک سطح مساوی از نیتروژن با تغییر در مقدار پتاسیم اثر معنی‌داری بر میزان پروتئین مشاهده نشد (جدول ۶).

دوپونت و همکاران (Dupont *et al.*, 2006) نشان دادند که افزایش نیتروژن قابل دسترس برای گیاه منجر به تولید پروتئین‌های ذخیره‌ای بیشتر از قبیل گلیادین و گلوتنین و در نتیجه افزایش میزان پروتئین دانه شد. این پژوهشگران که همچنین گزارش کردند که محتوی نیتروژن دانه و در نتیجه میزان پروتئین دانه با میزان افزایش مصرف نیتروژن افزایش یافت، و یک رابطه خطی در دامنه صفر الی ۱۵۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار وجود داشت.

بررسی اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود نشان داد که درصد پروتئین در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بود (جدول ۷) بیشترین درصد پروتئین در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) در سال زراعی اول بدست آمد و کمترین آن مربوط به تیمار شاهد در سال زراعی اول بود که تفاوت معنی‌داری با این تیمار کودی در سال دوم نداشت (جدول ۷). تغییرات شرایط آب و هوایی به ویژه بارش و دمای هوا در طول دوره پر شدن دانه موجب تفاوت درصد پروتئین در برخی تیمارها در دو سال آزمایش شد. مطالعات دالا مارتا و همکاران (Dalla Marta *et al.*, 2010) و همچنین اورلاندینی و همکاران (Orlandini *et al.*, 2010) نیز اثر تغییرات دمای هوا و بارندگی را بر میزان پروتئین دانه گندم دوروم گزارش کردند.

حجم رسوب زلنی

مقایسه میانگین‌ها برای حجم رسوب زلنی در سطوح مختلف تیمارهای کود نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن حجم رسوب زلنی نیز افزایش یافت. بطوریکه حجم رسوب زلنی در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلو گرم در هکتار پتاسیم (K200N400) با ۲۵/۹۲ میلی‌لیتر بالاترین و در تیمار شاهد با ۲۲ میلی‌لیتر کمترین را بود (جدول ۶). اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود بر حجم رسوب زلنی در سطح احتمال پنج درصد معنی‌دار بود (جدول ۵). بطوریکه

بیشترین حجم رسوب زلنی (۲۶ میلی لیتر) در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلو گرم در هکتار پتاسیم (K200N400) سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بود که تفاوت معنی‌داری با همین تیمار در ۱۴۰۰-۱۳۹۹ نداشت، و کمترین آن (۲۱/۳۳ میلی‌لیتر) آن در تیمار شاهد در سال اول بود (جدول ۷).

از آنجاییکه نیتروژن نقش مهمی در فتوسنتز و اسیمیلاسیون پروتئین‌های ضروری گیاه دارد، در نتیجه استنباط می شود که تغذیه با کود نیتروژن سبب بهبود واکنش‌های فیزیولژیک در سنتز پروتئین‌هایی می‌شود که بر چجم رسوب زلنی اثر گذار هستند. از روش‌های مرسوم برای بررسی کیفیت پروتئین دانه گندم، تعیین حجم رسوب زلنی است که به عنوان شاخصی از کیفیت آردهای حاصله و خاصیت نانوایی به شمار می‌آید. تفاوت بین آردهای حاصل از گندم‌های مختلف منعکس کننده توانایی جذب آب توسط گلوتن آنها است (Bucsella *et al.*, 2016). جاسمی و همکاران (Jasemi *et al.*, 2014) با بررسی اثر کودهای پرمصرف و کم مصرف بر ویژگی‌های کیفیت دانه گندم نان گزارش کردند که در تیمار کاربرد کودهای پرمصرف حجم رسوب زلنی نسبت به تیمار شاهد افزایش داشت.

شاخص سختی دانه

مقایسه میانگین‌ها برای اثر سطوح مختلف کود بر شاخص سختی دانه نشان داد که در سطوح بالاتر کودهای نیتروژن و پتاسیم مقدار این شاخص بیشتر بود، اگر چه در برخی تیمارها تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کود پتاسیم در یک سطح از کود نیتروژن مشاهده نشد(جدول ۶). بیشترین شاخص سختی دانه مربوط به تیمار کودی ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) و کمترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۶).

تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای K100N400 و K0N400 مشاهده نشد و تیمارهای K100N300 و K200N300 نیز تفاوت معنی دار نداشتند (جدول ۶). این نتایج را می توان با توجه به میزان پتاسبم قابل جذب در خاک تفسیر کرد. میزان بالای پتاسیم قابل جذب در خاک نیاز گیاه به پتاسیم را تامین کرد و در نتیجه تغییر در میزان مصرف کود پتاسیم تأثیری بر شاخص سختی دانه گندم دوروم نداشت. در حالیکه بر اثر افزایش میزان مصرف کود نیتروژن شاخص سختی دانه از ۵۷/۲ به ۶۰/۹ افزایش یافت (جدول ۶).

شاخص سختی دانه تراکم و فشردگی گرانول‌های نشاسته در آندوسپرم دانه را نشان می‌دهد و بیشتر تحت تاثیر ژنتیک رقم است و به میزان کمتری تحت تاثیر محیط قرار می گیرد. در دانه‌های گندم دانه سخت، گرانول‌های نشاسته به‌طور کاملاً محکم و سفت با اتصال به سایر ترکیبات پروتئینی و اجزای غیر نشاسته‌ای، به‌هم چسبیده‌اند. از این‌رو می‌توان گفت که

گندم‌های دانه سخت از مقدار و کیفیت بالاتر پروتئین برخوردارند و آندوسپرم سخت و شیشه‌ای دارند (Peighambardoust, 2017). دامنه شاخص سختی دانه بین ۲۰ تا ۱۲۰ تغییر می کند. بر این اساس، دانه‌های با شاخص سختی کمتر از ۴۵ به عنوان دانه نرم، بین ۴۵ تا ۷۵ دانه با سختی متوسط و بالاتر از ۷۵ دانه سخت، محسوب می‌شوند (Ram *et al.*, 2018). افزایش شاخص سختی دانه با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Liu *et al*., 2021; Dinsa *et al*., 2012).

بررسی اثر متقابل سال × سطوح کود نیز نشان داد که بیشترین شاخص سختی دانه در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) در سال زراعی ۹-۱۳۹۸و کمترین آن نیز در تیمار شاهد همین سال زراعی مشاهده شد (جدول۷). سورما و همکاران (Surma *et al.*, 2012) به مطالعه اثر ژنوتیپ، محیط و اثر متقابل آنها بر سختی دانه گندم پرداختند. نتایج آنها نشان داد که سختی دانه عمدتا توسط عوامل ژنتیکی کنترل می‌شود و کمتر تحت تاثیر عوامل محیطی قرار می گیرد، درحالیکه میزان پروتئین، درصدگلوتن مرطوب و عدد زلنی بیشتر تحت تاثیر محیط بودند.

درصدگلوتن مرطوب

مقایسه میانگین‌های درصد گلوتن مرطوب نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن درصدگلوتن مرطوب افزایش یافت، در حالیکه با افزایش مقدار مصرف کود پتاسیم تنها در تیمار با ۴۰۰ کیلوگرم کود نیتروژن در هکتار روند افزایشی و معنی‌دار داشت (جدول ۶). به طور کلی، بالاترین میزان گلوتن مرطوب (۳۰/۵۰ درصد) مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) و پایین‌ترین مقدار آن مربوط به تیمار شاهد (۲۴/۴۲ درصد) بود (جدول ۶).

گلوتن دانه به عنوان مجموعه پروتئین‌های غیرمحلول در آب، مهم‌ترین پروتئین گندم است. در واقع از این پروتئین تحت عنوان پروتئین ساختمانی جهت تولید نان، کیک، کلوچه و بیسکوئیت یاد می‌شود و کمبود آن سبب تولید فرآورده‌ای با بافت شکننده، رنگ ضعیف، حجم و تخلخل کم می‌شود (Gallagher *et al.*, 2004). گلوتن از دو جز گلیادین و گلوتنین تشکیل شده است که هر کدام دارای خواص کاربردی متفاوتی می‌باشند. میزان گلوتن دانه گندم بستگی فراوانی به شرایط آب و هوایی دارد. گربا و همکاران (Gerba *et al.*, 2013) با بررسی اثر سطوح مختلف کود نیتروژن بر ویژگی‌های کیفیت گندم دوروم در بخش‌های مرکزی اتیوپی گزارش کردند که با افزایش مقدار مصرف کود نیتروژن درصدگلوتن مرطوب افزایش یافت و بالاترین میزان گلوتن مرطوب (۵۴/۵ درصد) در تیمار با مصرف ۲۴۰ کیلوگرم در هکتارکود

نیتروژن بود.

بررسی اثر متقابل سال × سطوح کود بر درصد گلوتن مرطوب نیز نشان داد که میزان گلوتن مرطوب در کلیه تیمارها در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بود (جدول ۷). تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) با ۳۸/۸۳ درصد در سال زراعی اول بیشترین و تیمار شاهد با ۲۴/۳۳ درصد در سال زراعی دوم کمترین درصد گلوتن مرطوب را داشتند (جدول ۷). تغییرات شرایط آب و هوایی به ویژه دمای هوا و بارش در دوسال آزمایش (در سال اول بارش بیشتر و میانگین دما کمتر بود) یکی از دلایل تفاوت درصد گلوتن مرطوب در سال‌های آزمایش بود. اثر دما و بارش بر تغییرات میزان گلوتن مرطوب دانه گندم دوروم توسط سایر پژوهشگران نیز گزارش شده است (Dalla Marta *et al*., 2011).

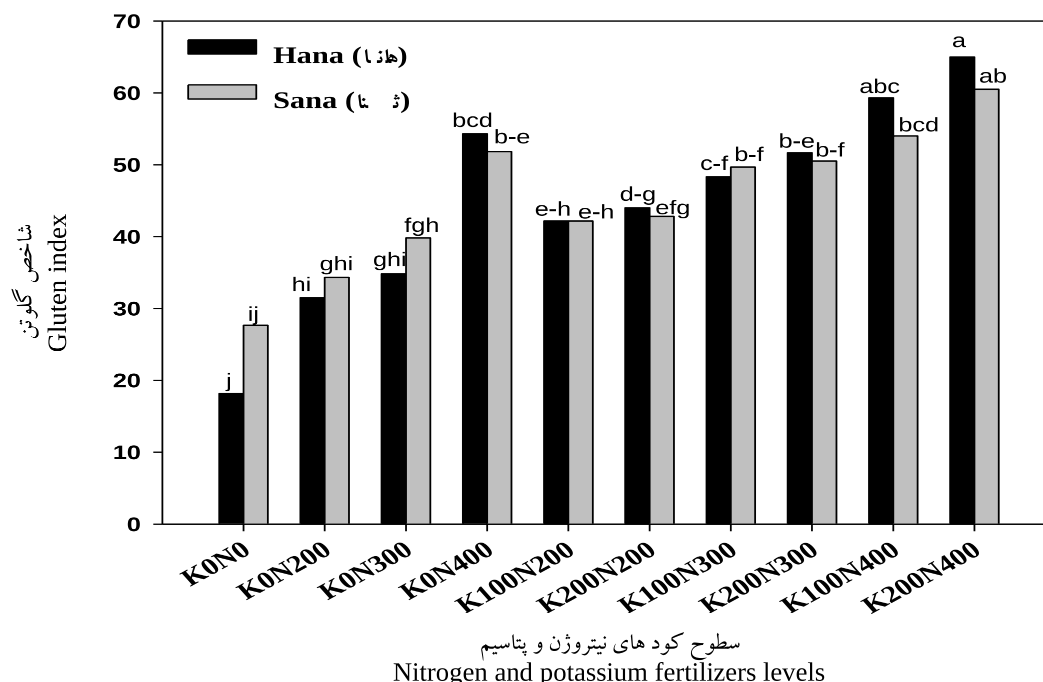
شاخص گلوتن

مقایسه میانگین‌های اثر سطوح مختلف کود بر شاخص گلوتن نشان داد که با افزایش مقدار کود نیتروژن این شاخص روند افزایشی داشت. در حالیکه بین سطوح مختلف کود پتاسیم در هر یک از سطوح نیتروژن (بجز با میزان ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن) تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد(جدول ۶). بیشترین شاخص گلوتن (۶۳/۷۵) مربوط به تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) و کمترین آن (۲۲/۹۲) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۶). مقایسه میانگین‌های اثر متقابل سال × سطوح کود نشان داد که تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشترین شاخص گلوتن (۶۵/۵) را داشت که با همین تیمار در سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ تفاوت معنی‌داری نشان داد (جدول۷). به طور کلی، شاخص گلوتن در کلیه تیمارها (بجز تیمار شاهد) در سال زراعی اول بیشتر از سال زراعی دوم بود.

یکی از شاخص‌های بررسی کیفیت گلوتن دانه گندم شاخص گلوتن می‌باشد. خصوصیات فراورده های تولیدی از آرد گندم بسیار تحت تأثیر کمیت و کیفیت گلوتن قرار دارد. اثر تغییرات دمای هوا و بارش بر کیفیت گلوتن توسط پژوهشگران متعددی گزارش شده است. وایدا و همکاران (Vida *et al*., 2021) گزارش کردند که دماهای هوای بالاتر در انتهای دوره پر شدن دانه موجب کاهش شاخص گلوتن و تغییر نسبت گلیادین به گلوتنین شد. همچنین ایشان اثر مثبت بارندگی در ۱۰ روز اول دوره پرشدن دانه را بر این ویژگی کیفیت دانه گندم دوروم گزارش کردند.

مقایسه میانگین‌های اثر متقابل رقم × سطوح کود نشان داد که هر دو رقم گندم دوروم پاسخ مشابهی به افزایش میزان مصرف کودهای نیتروژن و پتاسیم داشتند، بطوریکه با افزایش

سطوح مصرف کود شاخص گلوتن در هر دو رقم هانا و ثنا افزایش یافت. بیشترین مقدار این شاخص در رقم هانا در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) و کمترین آن نیز در رقم هانا در تیمار شاهد بود (شکل ۴).



شکل ۴- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × سطوح کود بر شاخص گلوتن دانه گندم دوروم در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹ ۱۳۹۹-۱۴۰۰). ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

Fig. 4. Mean comparison of cultivar × fertilizer levels interaction effect on gluten index of durum wheat in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21). Coulmns with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tuket test

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer

ارتفاع رسوب SDS

مقایسه میانگین ارتفاع رسوب SDS نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن این ویژگی کیفیت دانه گندم دوروم نیز روند افزایشی داشت (جدول ۶). این یافته با نتایج مطالعات سایر پژوهشگران همسو است (Lerner *et al.*, 2006). بیشترین ارتفاع رسوب SDS (۷۱/۲۵ میلی‌متر) مربوط به تیمار ۴۰۰

کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) و کمترین مقدار آن (۶۴/۶۷ میلی‌متر) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول۶). همچنین نتایج نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین تیمارهای K0N200 و K200N200 نبود. نتایج این پژوهش نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین سطوح مختلف کود پتاسیم در هر یک از سطوح کود نیتروژن وجود نداشت و مصرف کود نیتروژن اثر بیشتری بر ارتفاع رسوب SDS داشت. این نتایج را می توان با توجه به میزان پتاسبم قابل جذب در خاک تفسیر کرد. میزان بالای پتاسیم قابل جذب در خاک نیاز گیاه به پتاسیم را تامین کرد و در نتیجه تغییر در میزان مصرف کود پتاسیم تأثیری بر ارتفاع رسوب SDS نداشت.

بررسی اثر متقابل سال × سطوح مختلف کود نشان داد که بیشترین و کمترین ارتفاع رسوب SDS مربوط به سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ و به ترتیب در تیمارهای ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) و شاهد بود (جدول ۷).

اندازه‌گیری ارتفاع رسوب SDS روش نسبتاً ساده‌ای برای برآورد کیفیت دانه گندم می‌باشد که به‌طور اختصاصی‌تر سبب رسوب پروتئین‌های گلوتنین ماکروپلیمری می‌شود (Axford *et al.*, 1979). درصدگلوتن مرطوب به کمیت گلوتن اشاره دارد، این در حالی است که کیفیت گلوتن را می‌توان با ارزیابی ارتفاع رسوب SDS نشان داد (Ierna *et al.*, 2016). بنابراین، استباط می شود که شرایط محیطی مطلوب‌تر (دمای هوای خنک تر و بارش بیشتر) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ علاوه بر تاثیر برکمیت گلوتن، بر کیفیت آن نیز موثر بود. نمونه‌های گندم با ارتفاع رسوب SDS کمتر از ۲۰ میلی‌متر در گروه فوق‌العاده ضعیف و بیش از ۸۰ میلی‌متر در گروه فوق‌العاده قوی قرار می‌گیرند (Najafian *et al*., 2021).

میزان استخراج سمولینا

مقایسه میانگین‌ها نشان داد که بیشترین (۶۱/۸۳ درصد) و کمترین(۵۱/۵۰ درصد) میزان استخراج سمولینا به ترتیب در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) و شاهد بود (جدول ۶). درصد استخراج سمولینا ارتباط مستقیمی با میزان پروتئین و شاخص سختی دانه دارد. دکستر و همکاران (Dexter *et al.*, 2004) گزارش کردند با افزایش میزان پروتئین، درصد استخراج سمولینا نیز افزایش یافت.

بررسی اثر متقابل سال × سطوح کود نشان داد که بیشترین میزان استخراج سمولینا در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس (K200N400) در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ و کمترین آن نیز در تیمار شاهد سال زراعی ۱۴۰۰-۱۳۹۹ بود

(جدول ۷). در کلیه تیمارهای کودی درصد استخراج سمولینا در سال زراعی اول به طور معنی‌داری بیشتر از سال زراعی دوم بود. با توجه به این نتایج پژوهش، تغییرات شرایط آب و هوایی سال‌های آزمایش به ویژه دمای هوا و بارندگی تأثیر بیشتری بر درصد استخراج سمولینا داشت. درصد استخراج سمولینا یکی از ویژگی های مهم کیفیت دانه در فرآیند آسیابانی دانه گندم دوروم است. دامنه میزان درصد استخراج سمولینا متغیر است و درصد استخراج بیش از ۷۰ ٪ حد بسیارخوب تلقی می‌شود (Dexter *et al*., 2004).

عارضه لکه آردی دانه

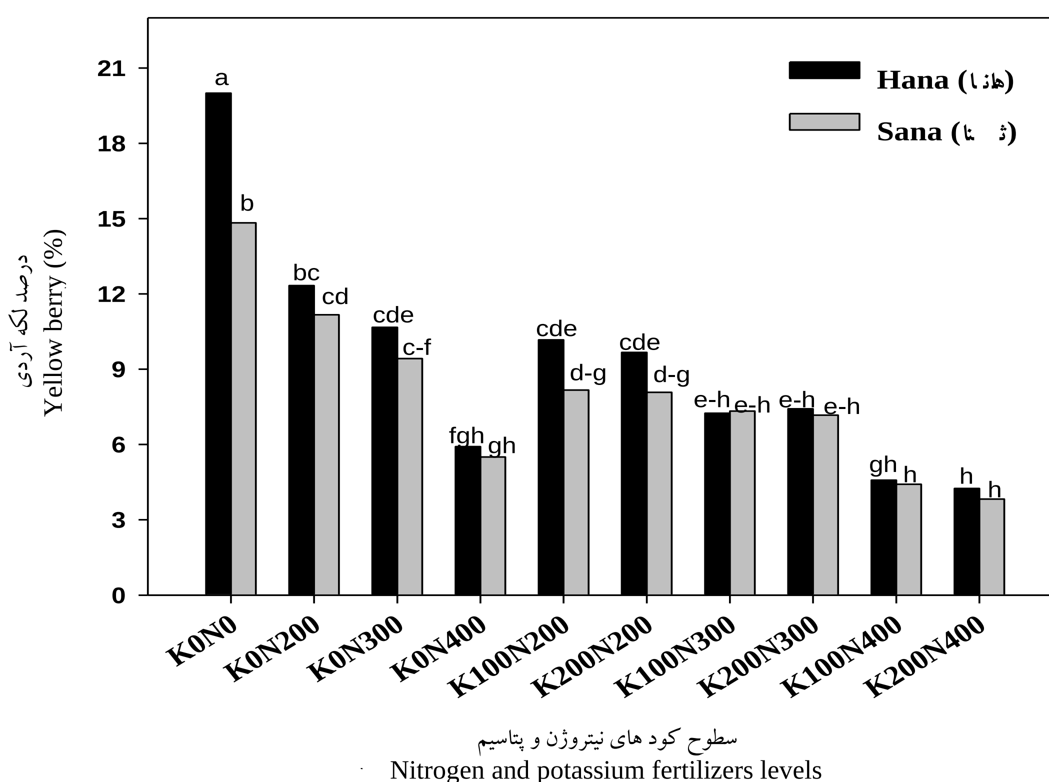
مقایسه میانگین‌های نشان داد که با افزایش میزان مصرف کود های نیتروژن و پتاسیم درصد لکه آردی دانه کاهش یافت. بطوریکه افزایش میزان مصرف کود نیتروژن موجب کاهش ۷۶ درصدی لکه آردی دانه نسبت به تیمار شاهد شد (جدول ۶). کمترین میزان لکه آردی دانه در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن (۴/۰۴ درصد) و بیشترین میزان آن مربوط به تیمار شاهد (۱۷/۴۲ درصد) بود (جدول ۶). رودریگرز-فلیکس و همکاران (Rodriguez-Felix *et al*., 2014) نشان دادند که با افزایش میزان مصرف کود نیتروژن از ۷۵ به ۲۵۰ کیلوگرم در هکتار درصد لکه آردی دانه و وزن هزار دانه کاهش و میزان پروتئین و تعداد دانه در هر سنبله افزایش یافت. همچنین همبستگی منفی و معنی‌داری بین میزان پروتئین و درصد لکه آردی دانه گزارش شد که با نتایج حاصل از پژوهش حاضر همسو است.

مقایسه میانگین اثر متقابل سال × سطوح کود نشان داد که بیشترین درصد لکه آردی دانه در تیمار شاهد سال زراعی ۱۳۹۹-۱۴۰۰ و کمترین آن در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار کود نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار کود پتاس مربوط به سال زراعی ۱۳۹۸-۹۹ بود (جدول ۷). به طورکلی، در کلیه تیمارهای کودی میزان لکه آردی دانه در سال زراعی دوم بیشتر از سال زراعی اول بود.

بررسی اثر متقابل رقم × سطوح کود نشان داد که بیشترین و کمترین درصد لکه آردی دانه به ترتیب در رقم هانا در تیمار شاهد و رقم ثنا در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم در هکتار نیتروژن و ۲۰۰ کیلوگرم در هکتار پتاس (K200N400) بود که تفاوت معنی‌داری با رقم هانا در این سطح کودی نداشت (شکل ۵). در سطوح مختلف کود میزان لکه آردی دانه رقم ثنا کمتر از رقم هانا بود که این تفاوت در تیمار شاهد بسیار معنی‌دار بود. نتایج این پژوهش نشان داد که رقم ثنا در مقایسه با رقم هانا نسبت به عارضه لکه آردی دانه متحمل تر بود. با این وجود در هر دو رقم با افزایش نیتروژن درصد لکه آردی دانه کاهش یافت (شکل ۵).

لکه آردی دانه یک عارضه فیزیولوژیکی نامطلوب در دانه گندم می‌باشد که در اثر آن بافت سخت دانه نرم و سفید رنگ

می‌شود (شکل ۲). این عارضه از عوامل مهم کاهش پروتئین و کیفیت محصول نهایی است (Ammiraju *et al.*, 2002). کمبود نیتروژن و رطوبت در خاک و پس از آنها تنش‌های زنده و غیرزنده از مهمترین عوامل در بروز لکه آردی دانه گندم می باشند (Kashyap *et al.*, 2022). بجدی و الگازا (Bnejdi and EL-Gazzah, 2008) گزارش کردند که بروز عارضه لکه آردی دانه علاوه بر کمبود نیتروژن، به عوامل ژنتیکی نیز بستگی دارد، بطوریکه برخی از ارقام نسبت یه این عارضه حساس‌تر هستند.



شکل ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل رقم × سطوح کود بر درصد لکه آردی دانه گندم دوروم در دو سال زراعی (۱۳۹۸-۹۹ ۱۳۹۹-۱۴۰۰). ستون هایی که دارای حداقل یک حرف مشابه می باشند بر اساس آزمون توکی در سطح احتمال پنج درصد تفاوت معنی دار ندارند

N: کود اوره، K: کود سولفات پتاسیم

Fig. 5. Mean comparison of cultivar × fertilizer levels interaction effect on grain yellow berry (%) of durum wheat in two cropping seasons (2019-20 and 2020-21). Coulmns with at least one letter in common are not significantly different at the 5% probability level using Tuket test

N: Urea fertilizer; K: Potassium sulfate fertilizer

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که بین دو سال آزمایش و سطوح مختلف کود های نیتروژن و پتاسیم از نظر عملکرد دانه، وزن هزار دانه و ویژگی‌های کیفت دانه دو رقم گندم دوروم تفاوت معنی‌دار وجود داشت. درحالی‌که بین دو رقم هانا و ثنا تفاوت معنی‌داری از نظر صفات مذکور (بجزء درصد لکه آردی) مشاهده نشد. میزان اثر سطوح کودهای نیتروژن و پتاس به شرایط سالانه آب و هوایی مرتبط بود. به طوریکه در سطوح مختلف کودهای نیتروژن و پتاس عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفیت دانه بویژه درصد گلوتن مرطوب، شاخص سختی دانه و درصد استخراج سمولینا در سال زراعی ۹۹-۱۳۹۸ بیشتر از سال زراعی ۱۴۰۰- ۱۳۹۹ بود. درصد لکه آردی دانه در سال زراعی دوم بیشتر از سال اول بود. بیشترین عملکرد، وزن هزار دانه و ویژگی‌های کیفیت دانه (بجزء درصد لکه آردی) در تیمار ۴۰۰ کیلوگرم کود اوره و ۲۰۰ کیلوگرم سولفات پتاسیم بدست آمد. همچنین نتایج نشان داد کود نیتروژن نسبت به کود پتاسیم اثر بیشتری بر عملکرد دانه و ویژگی‌های کیفیت دانه داشت.

سپاسگزاری

نگارندگان بدینوسیله از پشتیبانی و مساعدت مدیریت محترم بخش تحقیقات غلات مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذر برای انجام این پژوهش سپاسگزاری می‌کنند. همچنین از کارکنان آزمایشگاه شیمی و تکنولوژی غلات آن مؤسسه که در اجرای این پژوهش همکاری کردند، تشکر می نمایند.

References

AACC. 2000. Approved methods of the American Association of Cereal Chemists. 10th Edition. Volume 1 & 2. American Association of Cereal Chemists, St. Paul, MN., USA. 1200 pp.

Abedi, T., Alemzadeh, A., and Kazemeini, S. A. 2011.Wheat yield and grain protein response to nitrogen amount and timing. Australian Journal of Crop Science 5: 330-336.

Able, J., and S. Atienza. 2014. Durum wheat for the future: Challenges, research, and prospects in the 21st century. Crop Pasture Science 65: 1-124.

Aissa, D. A., and Mhiri, A. 2002. Fertilisation phospho-potassique du blé dur en culture intensive en Tunisie. Cahiers Agricultures 11 (6): 391-397.

Ammiraju, J. S., Dholakia, B. B., Jawdekar, G., Santra, D. K., Gupta, V. S., Roder, M. S., Singh, H., Lagu, M. D., Dhaliwal, H. S., Rao V. S., and Ranjekar, P.K. 2002.

Inheritance and identification of DNA markers associated with yellow berry tolerance in wheat (*Triticum aestivum* L.). Euphytica, 123 (2): 229-233.

Anonymous. 2019. Durum wheat - Specification and test methods. Iranian National Standard No. 4554. 35 pp. (in Persian).

Anonymous, 2017. Wheat cultivated areas in Iran. Wheat Production Plan Office. Ministry of Jehad-e-Agricuture. Tehran, Iran.

Anonymous. 1998. ICC Standard. Determination of protein by near infrared reflectance (NIR) spectroscopy. No. 159. pp: 1-5.

Anwar, F., Siddiqui, M. H., Alghamdi, S. S., Al–Whaibi, M. H., and Chandra, A. 2011. Nitrogen use- efficiency and crop production- A mini review. Journal of Science and Technology 6: 167-174.

Axford, D. W. E., McDermott, E. E., and Redman, D. G. 1979. Note on the sodium dodecyl sulfate test of breadmaking quality: comparison with Pelshenke and Zeleny test. Cereal Chemistry 56 (6): 582-584.

Bnejdi, F., and El-Gazzah, M. 2008. Inheritance of resistance to yellow berry in durum wheat. Euphytica, 163 (2): 225-230.

Blumenthal, C. S., Barlow, E. W.R., and Wrigley, C. W. 1993. Growth environment and wheat quality: the effect of heat stress on dough properties and gluten proteins. Journal of Cereal Science 18: 3-21.

Boukef, S., Karmous, Ch., Trifa, Y., and Rezgui, S. 2013. Durum wheat grain quality traits as affected by nitrogen fertilization sources under Mediterranean rainfed conditions. Journal of Agriculture and Sustainability 4 (1): 99-114.

Bucsella, B., Takács, Á. Vizer, V., Schwendener, U. and Tömösközi, S. 2016. Comparison of the effects of different heat treatment processes on rheological properties of cake and bread wheat flours. Food Chemistry 190: 990-996.

Carter, B. P., Morris, C. F., and Anderson, J. A. 1999. Optimizing the SDS sedimentation test for end-use quality selection in a soft white and club wheat breeding program. Cereal Chemistry 76 (6): 907-911.

Carvalho, M. G. J., Bonfim-Silva, E. M., and Silva, T. J. A. 2016. Nitrogen and potassium in production, nutrition and water use efficiency in wheat plants. Ciencia e Investigacion Agraria 43: 442-451.

Dalla Marta, A., Grifoni, D., and Mancini, M. 2011. The influence of climate on durum wheat quality in Tuscany, Central Italy. International Journal of Biometeorology 55: 87-96.

Daniel, C., and Triboi, E. 2000. Effects of temperature and nitrogen nutrition on the grain composition of winter wheat: effects on gliadin content and composition. Journal of Cereal Science 32: 45-56.

Dashadi, M. 2020. Influence of nitrogen and potassium application on yield and yield components of Rainfed wheat under different rotation managements. Dryland Agriculture 9 (2): 153-173. (in Persian).

Dexter, J. E., Doust, M. A., Raciti, C. N., Lombardo, G. M., Clarke, F. R., Clarke, J. M., Marchylo, B. A., Schlichting, L. M., and Hatcher, D. W. 2004. Effect of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) semolina extraction rate on semolina refinement, strength indicators and pasta properties. Canadian Journal of Plant Science 84 (4): 1001-1013.

Dupont, F. M., Hurkman, W. J., Vensel, W. H., Tanaka, C., Kothari, K. M., Chung, O, K., and Altenbach, S. B. 2006. Protein accumulation and composition in wheat grains: Effects of mineral nutrients and high temperature. European Journal of Agronomy 25: 96-107.

Dolijanovic, Z., Roljevic Nikolic, S., Kovacevic, D., Djurdjic, S., Miodragovic, R., Jovanovic Todorovic, M., and Popovic Djordjevic, J. 2019. Mineral profile of the winter wheat grain: Effects of soil tillage systems and nitrogen fertilization. Applied Ecology and Environmental Research 17: 11757-11771.

Dou, Z., Tang, S., Li, G., Liu, Z. H., Ding, C. Q., Chen, L., Wang, S., and Ding, Y. 2017. Application of nitrogen fertilizer at heading stage improves rice quality under elevated temperature during grain-filling stage. Crop Science 57: 2183-2192.

Edwards, N. M., Gianibelli, M. C., McCaig, T. N., Clarke, J. M., Ames, N. P., Larroque, O. R., and Dexter, J. E. 2007. Relationship between dough strength, polymeric protein quantity and composition for diverse durum wheat genotypes. Journal of Cereal Science 45: 140-149.

Ejaz, A. W. M. S. Basra, N. Ahmad, Ahmed, R., and Muhammad, A. 2002. Effect of nitrogen on grain quality and vigour in wheat (*Triticum aestivum* L.). International Journal of Agriculture and Biology 4 (4): 517-520.

Fageria, N. K. 2014. Nitrogen harvest index and its association with crop yields. Journal of Plant Nutrition 37: 795-810.

Dinsa, G. F., Deressa, H., Dargie, R., Bogale, M., Mehadi, S., Getachew, F. 2012. Grain hardness, hectolitre weight, nitrogen and phosphorus concentrations of durum wheat

(*Triticum turgidum* L. var. durum) as influenced by nitrogen and phosphorous fertilization. World Applied Sciences Journal 20: 1322-1327.

Farahani, E., and Arzani, A. 2009. Evaluation of genetic variation of durum wheat genotypes using multivariate analysis. Electronic Journal of Crop Production 1 (4): 51-64.

Fois, S., Schlichting, L., Marchylo, B., Dexter, J., Motzo, R., and Giunta, F. 2011. Environmental conditions affect semolina quality in durum wheat (*Triticum turgidum* ssp. durum L.) cultivars with different gluten strength and gluten protein composition. Journal of the Science of Food and Agriculture 91: 2664-2673.

Gallagher, E., Gormleya, T. R., and Arendtbm, E. K. 2004. Recent advances in the formulation of gluten free cereal-based products. Food Science and Technology 15: 143-152.

Gant, C. A., Brown, K. R., Racz, G. J., and Bailey, L. D. 2001. Influence of source, timing and placement of nitrogen on grain yield and nitrogen removal of durum wheat under reduced and conventional tillage management. Canadian Journal of Plant Science 81: 17-27.

Garrido-Lestache, E., Lopez-Bellido, R. J., and Lopez-Bellido, L. 2005. Durum wheat quality under Mediterranean conditions as affected by N rate, timing and splitting, N form and S fertilization. European Journal of Agronomy 23: 265-278.

Gerba, L., Getachew, B., and Walelign, W. 2013. Nitrogen fertilization effects on grain quality of durum wheat (*Triticum turgidum* L. var. durum) varieties in central Ethiopia. Agricultural Sciences 4 (3): 123-130.

González-Torralba, J., Arazuri, S., Jarén, C., and Arregui, L. M. 2011. Stable quality traits of soft winter wheat under non-limiting nitrogen conditions. Crop Science 51: 2820-2828.

Girma, K., Holtz, S. L., Arnall, D. B., Fultz, L.M., Hanks, T. L., Lawles, K. D., Mack, C. J., Owen, K. W., Reed, S. D., Santillano, J., Walsh, O., White, M. J., and Raun, W. R. 2007. Weather, fertilizer, previous year grain yield and fertilizer response level affect ensuing year grain yield and fertilizer response of winter wheat. Agronomy Journal 99: 1607-1614.

Herdrich, N. 2000. Grower experiences with alternate wheat, 1997-2000. Crops in eastern Washington. Washington State University. 12 pp.

Ierna, A., Lombardo, G. M., and Mauromicale, G. 2016. Yield, nitrogen use efficiency and grain quality in durum wheat as affected by nitrogen fertilization under a

Mediterranean environment. Experimental Agriculture 52 (2): 314-329.

Jasemi, Sh., Akbari, Gh. A., Moradi, F., Akbari, A., and Najafian, G. 2014. Effect of macro- and micro- nutrients on grain yield and quality related traits of two bread wheat cultivars. Seed and Plant Production Journal 2 (2): 119-133 (in Persian).

Kashyap, P. L., Gupta, V., Gupta, O. P., Sendhil, R., Gopalareddy, K., Jasrotia, P., and Singh, G. P. 2022. New horizons in wheat and barley research: global trends, breeding and quality enhancement. Springer Singapore. 842 pp.

Lerner, S. E., Cogliatti, M., Ponzio, N. R., Seghezzo, M. L., Molfese, E. R., and Rogers, W. J. 2004. Genetic variation for grain components and industrial quality of durum wheat cultivars sown in Argentina. Journal of Cereal Science 40: 161-166.

Lerner, S. E., Seghezzo, M. L., Molfese, E. R., Ponzio, N. R., Cogliotti, M. and Rogers, W. J. 2006. N and S-fertilizer effects on grain composition, industrial quality and end-use in durum wheat. Journal of Cereal Science 44:2-11.

Liu, P., Ma, X., Wan, H., Zheng, J., Luo, J., Hu, Y., and Pu, Z. 2021. Effects of differential nitrogen application on wheat grain proteome. Journal of Cereal Science 102: 103367. doi.org/10.1016/j.jcs.2021.103367.

Lloveras, J., Lopez, A., Ferr, J., Espachs, S., Solsona, J., 2001. Bread-making wheat and soil nitrate as affected by nitrogen fertilization in irrigated Mediterranean conditions. Agronomy Journal 93: 1190-1193

Makowska, A., Obuchowski, W., Sulewka, H., Koziara, W., and Paschke, H. 2008. Effect of nitrogen fertilization of durum wheat varieties on some characteristics important for pasta production. Acta Scientiarum Polonorum Technologia Alimentaria 7: 29-39.

Malakouti, M. J., and Tehrani, M. M. 1999. Effects of micronutrients on the yield and quality of agricultural products: Micro-nutrients with macro-effects. Tarbiat Modares University Publication. Tehran, Iran. 299 pp. (in Persian).

Malakouti, M. J., and Homaee, M. 2004. Soil fertility of arid and semi-arid regions difficulties and solutions. Tarbiat Modares University Publication, Tehran, Iran. 518 pp. (in Persian).

Mariem, S. B., Onzález-Torralba, J., Collar, C., Aranjuelo., I., and Morales, F. 2020. Durum wheat grain yield and quality under low and high nitrogen conditions: insights into natural variation in low- and high-yielding genotypes. Plants 9: 1636. doi:10.3390/plants9121636.

Martínez-Moreno, F., Ammar, K., and Solís, I. 2022. Global changes in cultivated area and breeding activities of durum wheat from 1800 to date: A historical review. Agronomy 12: 1135. https:// doi.org/10.3390/agronomy12051135

May, W. E., Fernandez, M. R., Holzapfel, C. B., and Lafond, G. P. 2008. Influence of phosphorus, nitrogen, and potassium chloride placement and rate on durum wheat yield and quality. Agronomy Journal 100 (4): 1173-1179.

Motzo, R., Fois, S., and Giunta, F. 2007. Protein content and gluten quality of durum wheat (*Triticum turgidum* subsp. *durum*) as affected by sowing date. Journal of the Science of Food and Agriculture 87: 1480-1488.

Mohammed, Y. A., Kelly, J., Chim, B. K., Rutto, E., Waldschmidt, K., Mullock, J., Torres, G., Desta, K. G., and Raun, W. 2013. Nitrogen fertilizer management for improved grain quality and yield in winter wheat in Oklahoma. Journal of Plant Nutrition 36: 749-761. https:// doi.org/10.1080/01904167.2012.754039.

Najafian, G., Jasemi, Sh., Naghipour, F., Sanjani, S., Esfandiaripour, E., Kaboli, M. M., Karimzadeh, Kh., Khorsandi, H., Pour Payghambar, H. A., Morteza-Gholi, M., Bababie Goli, B., Shafiepour, M. T., and Moslehi, E. S. 2021. Quality properties mapping and evaluation of farmer's field produced wheat of different regions of Iran at provincial and district levels. Nashr-e-Amozoesh. Karaj, Iran. 191 pp. (in Persian).

Niu, J., Weifeng, Z., Ru, S., Chen, X., Xiao, K., Zhang, X., Assaraf, M., Imas, P., Magen, H., and Zhang, F. 2013. Effects of potassium fertilization on winter wheat under different production practices in the north china plain. Field Crops Research 140: 69-76.

Orlandini, S., Grifoni, D., Natali, F., Mancini, M., and Dalla Marta, A. 2010. Impacts of climate change on Tuscany durum wheat quality. pp. 195-208. In: Mihailovic, D. T., and B. Lalic (eds.) Advances in environmental modeling and measurements. Nova Science Publishers Inc., New York, USA.

Pampana, S., and Mariotti, M. 2021. Durum wheat yield and N uptake as affected by N source, timing, and rate in two Mediterranean environments. Agronomy 11: 1299. https://doi.org/10.3390/agronomy11071299

Peighambardoust, S. H. 2017. Rheology test methods: wheat, flour and dough: Amidi Publications. Tabriz, Iran. 67 pp. (in Persian).

Pozo, A. D., Matus, I., Ruf, K., Castillo, D., Méndez-Espinoza, A. M., and Serret, M. D. 2019. Genetic advance of durum wheat under high yielding conditions: the case of Chile. Agronomy 9: 454. doi: 10.3390/agronomy9080454.

Protic, R., Miric, M., Protic, N., Jovanovic, Z., and Jovin, P .2007. The test weight of several winter wheat genotypes under various sowing dates and nitrogen fertilizer rates. Romanian Agricultural Research 24 : 43-36.

Ram, S., Narwal, S., Gupta, O. P., Pandey, V., Gupta, R. K., and Singh, G. P. 2018. Laboratory manual on methodologies for evaluation of wheat quality. ICAR-Indian Institute of Wheat and Barley Research. 40 pp.

Raun, W. R., Dhillon, J., Aula, L., Eickhoff, E., Weymeyer, G., Figueirdeo, B., Lynch, T., Omara, P., Nambi, E., Oyebiyi, F., and Fornah, A. 2019. Unpredictable nature of environment on nitrogen supply and demand. Agronomy Journal 111: 2786–2791. https://doi. org/10.2134/agronj2019.04.0291.

Rodriguez-Felix, F., Ramirez-Wong, B., Torres- Chávez, P. I., Alvarez-Avilés, A., Moreno-Salazar, S., Renteria-Martinez, M. E., and Bello-Perez, L. A. 2014. Yellow berry, protein and agronomic characteristics in bread wheat under different conditions of nitrogen and irrigation in northwest Mexico. Pakistan Journal of Botany 46b (1): 221-226.

Salardini, A. A., 2011. Soil fertility. University of Tehran Publications. Tehran, Iran. 434 pp. (in Persian).

Shahidi, F., Nasehi, B., and Rastgoo, A. 2007. Pasta technology. Ferdowsi Unversity of Mashhad Publication. Mashhad, Iran. 274 pp. (in Persian).

Sedri, M. H., Roohi, E., Niazian, M., and Niedbala, G. 2021. Interactive effects of nitrogen and potassium fertilizers on quantitative-qualitative traits and drought tolerance indices of rainfed wheat cultivar. Agronomy 12: 30. https://doi.org/10.3390/

Surma, M., Adamski, T., Banaszak, Z., Kaczmarek, Z., Kuczyn´ska, A., Majcher, M., Lugowska, B., Obuchowski, W., Salmanowicz, B., and Krystkowiak, K. 2012. Effect of genotype, environment and their interaction on quality parameters of wheat breeding lines of diverse grain hardness. Plant Production Science 15 (3): 192-203.

Vida, G., Csépl˝, M., Rakszegi, M., and Banyai, J. 2021. Effect of multi-year environmental and meteorological factors on the quality traits of winter durum wheat. Plants 11: 113. doi.org/10.3390/plants11010113.

Walsh, O. S., Marshall, J., Nambi, E., Shafian, S., Jayawardena, D., Jackson, C., Lamichhane, R., Owusu Ansah, E., and McClintick-Chess, J. 2022. Spring wheat yield and grain quality response to nitrogen rate. Agronomy Journal 114: 2562-2572.

Walsh, O., Shafian, S., and Christiaens, R. 2018. Nitrogen fertilizer management in

dryland wheat cropping systems. Plants: 7-9. https://doi. org/10.3390/plants7010009.

Xu, G., Fan, X., and Miller, A. J. 2012. Plant nitrogen assimilation and use efficiency. Annual Review of Plant Biology 63: 153-182.

Zavalin, A. A., Kurishbayev, A. K.; Ramazanova, R. K.; Tursinbaeva, A. E., and Kassipkhan, A. 2018. Fertilizer nitrogen use by spring triticale and spring wheat on dark-chestnut soil of the dry steppe zone of Kazakhstan. Russian Agricultural Sciences 44: 153-156.